Misiles crucero

Esta nueva categoría de armas de gran precisión y bajo coste presenta un difícil problema a la mesa de negociaciones del control de armamentos, a saber: cómo distinguir con seguridad entre la versión táctica y la estratégica

Kosta Tsipis

Los éxitos parciales alcanzados por los negociadores de Estados Unidos y de la URSS en las conversaciones que se vienen llevando a cabo para limitar la carrera de armas nucleares estratégicas, se basan en el reconocimiento mutuo de que cada una de las partes dispone de "medios técnicos nacionales" (principalmente satélites de reconocimiento) para distinguir de manera firme entre armas estratégicas, o de alcance intercontinental, y el resto de las que componen el arsenal del otro lado. El misil crucero de largo alcance, nuevo tipo de arma que en la actualidad se halla en desarrollo en Estados Unidos, puede ser una excepción a esta regla. No existe diferencia alguna apreciable entre los misiles crucero de largo alcance (capaces de llevar a cabo misiones estratégicas) y los misiles crucero de corto alcance (los apropiados únicamente para misiones tácticas). En otras palabras: no existe una correlación clara y evidente entre la apariencia física de un misil crucero dado y el objetivo al que se destina.

De acuerdo con los informes aparecidos en la prensa diaria, el anunciado advenimiento del misil crucero de largo alcance ya ha originado un importante obstáculo para concluir satisfactoriamente la segunda ronda de conversaciones sobre la limitación de armas estratégicas (SALT II), entre Estados Unidos y la URSS. El problema inmediato es el de si los misiles crucero deben ser incluidos o no en el total de 2400 vehículos de lanzamiento estratégico, establecidos como límite máximo para ambas partes, en las conversaciones mantenidas en Vladivostok entre el Presidente Ford y el Secretario General Brezhnev. Las propiedades básicas de los misiles crucero, que ya han dado lugar al actual desacuerdo, amenazan con crear un impedimento similar en las futuras negociaciones sobre limitación de armas estratégicas.

En lo concerniente al control de armamentos, el dilema a que dan origen los misiles crucero viene determinado por lo siguiente: aunque el misil crucero parece ser operativamente inferior a las armas estratégicas existentes, ya sea en lo relativo a la disuasión o a la destrucción (contragolpe), en realidad es, en potencia, un arma táctica de gran eficacia en relación a su coste. Por ejemplo, los misiles crucero de corto alcance podrían reemplazar, con el tiempo y en muchas de sus misiones, a los caza-bombarderos tripulados, permitiendo una significativa disminución del número de las costosas instalaciones que dichos aviones requieren, tales como portaviones y bases situadas en países extranjeros.

En consecuencia, los Estados Unidos se oponen a la inclusión de los misiles crucero dentro de la cuota establecida para vehículos de lanzamiento estratégico –dada la imposibilidad de distinguir visualmente los diferentes tipos de misiles crucero–, debido a que semejante norma impediría el desarrollo de los misiles crucero tácticos, por considerárseles armas estratégicas. Por su parte, la URSS insiste en la inclusión, en la cuota de armas estratégicas, de todos los misiles crucero, potencialmente capaces de llevar a cabo misiones de largo alcance; la razón estriba en que no habría forma de determinar si un misil crucero estadounidense es un arma táctica o estratégica. Ello explica que las SALT II sigan paralizadas.

¿Qué es un misil crucero? ¿Cómo actúa? ¿Cuáles son sus posibilidades? ¿Por qué aquel que cubre una distancia de 5000 km no se puede distinguir del que únicamente recorre la décima parte de dicho camino?

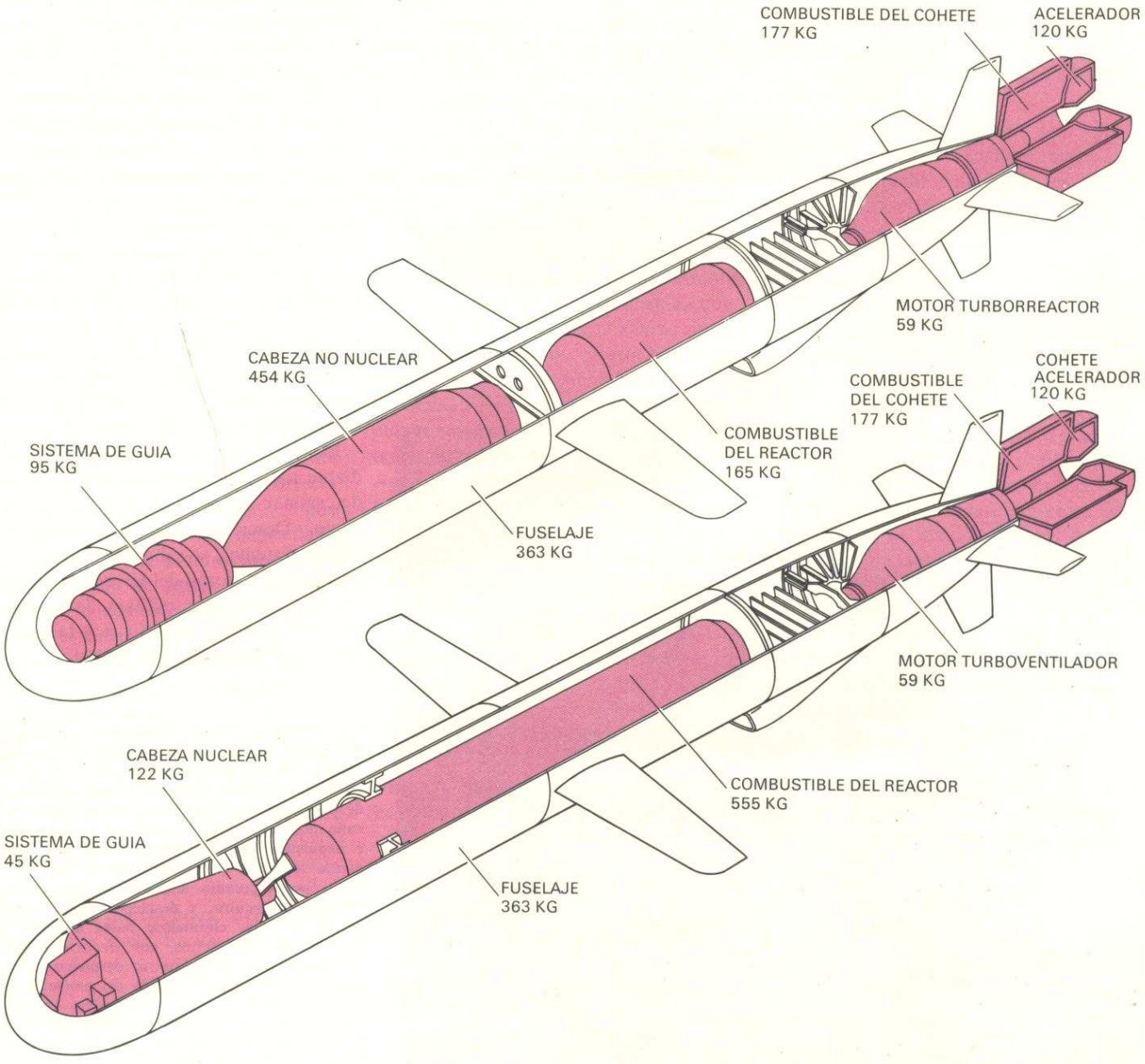
Trataré de dar respuesta a esos interrogantes, describiendo los distintos tipos de misiles crucero actualmente en proyecto o en fase de planificación, examinando las posibilidades tácticas y estratégicas de las diferentes versiones y analizando su utilidad militar potencial, así como sus efectos sobre los esfuerzos que se están llevando a cabo para establecer un control de armamentos. Consideraré, también, el difícil problema de relacionar la misión encomendada a un misil crucero con sus características observables, ofreciendo una sugerencia para el establecimiento de una posible base técnica mediante la cual pueda ser resuelto el problema.

Un misil crucero puede ser definido como un vehículo de lanzamiento de bombas autónomo, autoguiado, de propulsión continua y combustión por aire, que vuela como un avión y está dotado de superficies aerodinámicas. A diferencia de un misil balístico, el cual es propulsado y, por ello, generalmente guiado sólo durante una breve parte inicial de su vuelo, después de lo cual sigue una trayectoria de caída libre, gobernada únicamente por el campo gravitatorio local, un misil crucero necesita una guía constante, ya que la velocidad y la dirección de su vuelo pueden resultar alteradas de manera imprevisible, como consecuencia de las condiciones climatológicas locales, o por cambios en el funcionamiento del sistema de propulsión. Un misil balístico va guiado sólo durante los cinco primeros minutos de los veinte, aproximadamente, que tarda en recorrer 5000 km; un misil crucero, que, en general, vuela a velocidades subsónicas, requeriría unas seis horas de guía continua para cubrir la misma distancia. Por consiguiente, los errores de dirección que se acumularían, llegarían a ser casi cien veces mayores en un misil crucero que en un proyectil balístico, para una distancia equivalente. La desviación acumulada en una trayectoria de miles de kilóme-

tros resultaría ser, en el caso de un misil crucero, muy grande; por tanto, el que alcanzara con seguridad su objetivo se lograría únicamente mediante una guía, constante, corregida de vez en cuando a través de nuevas informaciones sobre su posición. Para obtener dichas informaciones, el misil crucero de largo alcance recurre a un ingenio que correlaciona la información relativa al terreno sobre el que vuela, obtenida por medio de un sensor situado a bordo, cotejándola con algún tipo de mapa almacenado en la memoria de un computador, también incorporado en el misil.

Los misiles crucero se utilizaron en el pasado como vehículos de lanzamiento de cabezas de guerra, empezando con las "bombas volantes" alemanas V-I, de la segunda Guerra Mundial, y continuando con armas tales como los misiles estadounidenses Matador, Regulus y Snark, y el misil ruso Shaddock, que aún se emplea a bordo de algunos submarinos y barcos rusos. Ninguna de esas primeras versiones estaba capacitada para obtener información posicional que permitiera corregir el sistema de dirección durante el vuelo; por ello, no eran muy precisas. Además, estaban propulsadas por motores a reacción ineficaces que, por lo general, no permitían alcanzar sino distancias de unos cuantos centenares de kilómetros.

La diferencia principal entre las anteriores versiones del misil crucero y las que actualmente se hallan en proyecto en Estados Unidos radica en que los adelantos tecnológicos recientes han puesto a disposición dos nuevos e importantes componentes: 1) ingenios microelectrónicos, que pueden proporcionar al momento información acerca de la situación en que se encuentra un misil crucero mientras se halla en vuelo, mejorando su precisión en tres órdenes de magnitud y 2) pequeños y eficaces motores a reacción, que, cada hora de vuelo, consumen un kilogramo de combustible por kilogramo de empuje que generan. Estos dos adelantos técnicos afectan primariamente el desempeño de los misiles cruceros estratégicos, ya que, a distancias tácticas, el tiempo de vuelo se mide en minutos; por lo tanto, incluso un sistema de dirección moderadamente preciso no



MISIL CRUCERO DE LANZAMIENTO DESDE EL MAR (SLCM) destinado a la Marina de los Estados Unidos, actualmente en proyecto. Estos esquemas indicativos muestran la versión táctica, o de corto alcance *(arriba)*, **y la versión estratégica** *(abajo)*. **Sin el cohete acelerador, necesario para el lanzamiento desde un submarino, o desde un buque, ambos misiles tienen un diámetro de 53 centímetros y 6,24 metros de longitud. Se indican los pesos de los distintos componentes. Desde el punto de vista externo, las dos versiones parecen idénticas.**

necesita corrección a mitad de vuelo. Por otra parte, un misil táctico puede ir equipado con un indicador automático de vuelo, radar por ejemplo, que detecte el blanco y dirija el misil hacia él.

El misil crucero de largo alcance posee un sistema de guía inercial, que consiste básicamente en tres o más acelerómetros, montados sobre plataformas estabilizadas mediante giróscopos, que lo orienta a lo largo de una trayectoria prefijada. Un sistema de guía inercial adecuado, adaptable a un misil crucero, permite que éste derive aproximadamente un kilómetro respecto de su curso por cada hora de vuelo. Los efectos climatológicos y las imperfecciones del motor a reacción que impulsa al misil ocasionan un aumento de la deriva. Transcurridas algunas horas de vuelo, el misil podría encontrarse a diez o más kilómetros de distancia de su objetivo. No obstante, si el misil pudiera "reconocer" de vez en cuando el lugar donde se halla, y cotejar su posición real con la posición en la que debería encontrarse, de acuerdo con la trayectoria prefijada, el computador de a bordo podría dar instrucciones al piloto automático, en el sentido de efectuar las maniobras oportunas para regresar a la trayectoria correcta. Por lo demás, el computador usa la diferencia conocida entre posición real y posición prevista para calibrar y reajustar el sistema de guía inercial, proceso que compensa y reduce la deriva del misil en un factor de dos a tres.

Existen distintos procedimientos mediante los cuales un misil crucero puede determinar su posición real durante el vuelo. Describiré brevemente tres de dichos sistemas, a saber, la técnica de cotejo del contorno del terreno (Tercom en la terminología militar), la técnica de correlación de superficies y la técnica de satélites en posición global.

EL PRIMER LANZAMIENTO submarino del nuevo SLCM, de la Marina de Estados Unidos, tuvo lugar el día 13 de febrero de 1976, en el Naval Undersea Center, de la isla de San Clemente, California. El misil fue lanzado desde un tubo lanzatorpedos sumergido, e impulsado hasta la superficie del agua mediante su cohete acelerador. Una vez fuera del agua, se desprendió automáticamente de su cubierta protectora, y desplegó sus planos de deriva de cola, elevándose hasta una altura de más de 300 metros, por efecto impulsor del cohete; en esta fase se desplegaron las alas y la trampilla de salida del motor reactor, y se soltó el cohete acelerador, ya gastado; el misil de prueba, sin motor, planeó a lo largo de una distancia de casi 4 kilómetros. En el modelo operativo, el motor reactor se haría cargo de la parte aerodinámica del vuelo. El SLCM está diseñado para su lanzamiento desde los tubos lanzatorpedos de un submarino, un buque, un avión o desde bases terrestres.

La técnica de cotejo del terreno, patentada en 1958, basa su principio funcional en el simple hecho de que la altura del terreno sobre el nivel del mar varía en función de la posición. Si se levantara un mapa rectangular de una superficie de dos kilómetros de ancho, por diez de largo, se dividiera después el mapa en cuadrículas de cien metros de largo, y se anotara en cada cuadrícula la altura media del terreno, se obtendría un mapa numérico, con dos mil dígitos, cada uno de los cuales correspondería a la altura sobre el terreno de un punto de coordenadas conocidas. Un juego de tales mapas, que puede hacerse mucho mayor, y cuyas cuadrículas pueden tener lados tan pequeños como sea necesario, se almacena en la memoria del computador a bordo del misil.

El misil va provisto también de un altímetro radárico de enfoque hacia abajo, capaz de distinguir objetos menores que las cuadrículas de los mapas, desde una altura de varios kilómetros. Cuando el misil se aproxima a la región de la cual la memoria del computador tiene un mapa, el altímetro empieza a suministrar un flujo de datos referentes a la elevación del terreno. El computador, al cotejar estos datos con los datos de elevación del terreno que almacena en su memoria, puede determinar el emplazamiento real del misil, con una acuidad comparable al tamaño de la célula del mapa. Pasa, luego, instrucciones al piloto automático para que realice las correcciones necesarias a fin de devolver el misil a su trayectoria correcta. En la memoria del computador se pueden almacenar unos veinte mapas de éstos; ello le permite al misil poner al día su información de situación, así como corregir frecuentemente su trayectoria durante el vuelo.

El método de correlación de superficies, todavía en fase de estudio, está basado en un principio similar de levantamiento de planos. Sin embargo, en lugar de medir la elevación del terreno respecto al nivel del mar, mide su reflectividad de microondas en función de la localización. No está dotado de un altímetro radárico, sino de un detector que puede captar las diferencias en la reflectividad de microondas del terreno sobre el que vuela. En los modernos esquemas de correlación de superficies se prevén unos misiles dotados de un sistema a bordo que incorpore mapas del terreno, realizados sobre una parte del espectro electromagnético, y de detectores que funcionen con diferentes longitudes de onda. Por ejemplo, dicho sistema podrá comparar señales procedentes de un radiómetro de microondas o de un detector de infrarrojos con los datos de un mapa realizado sobre la parte visible del espectro. Esta comparación es posible debido a que la existencia de accidentes del terreno, como lagos, ríos, carreteras, vías de ferrocarril y otras construcciones creadas por la mano del hombre dan lugar a pronunciados "bordes de contraste" en una gran zona del espectro. La técnica de correlación de superficies puede ser aplicada para la localización del misil en cualquier clase de terreno, mientras que la técnica de cotejo del terreno con el mapa se desenvuelve bien únicamente en terrenos montañosos o escabrosos. Ninguno de ambos sistemas funciona sobre el agua.

El tercer sistema para situar la posición de un misil crucero es el de satélites en posición global; dicho sistema se halla también en proyecto en Estados Unidos. El plan consta de 24 satélites situados en posiciones polares, de suerte que cualquier punto de la superficie de la tierra estará vigilado, en todo momento, por cuatro satélites de éstos. A intervalos de milésimas de segundo, los satélites irán emitiendo señales codificadas, sincronizadas exactamente, que podrán ser captadas por el equipo situado a bordo del misil crucero. Midiendo la diferencia de los tiempos de llegada entre cuatro de dichas señales, el computador del misil podrá calcular la distancia que medie de éste a los satélites. Además, los satélites irán emitiendo información sobre sus órbitas alrededor de la tierra. Con esta información, y los cuatro tiempos diferentes de llegada de las señales, el computador podrá determinar la posición real del misil con un error de unos diez metros, sin necesidad de nuevos datos. A partir de esta información podrá, además, deducir su velocidad en cualquier momento.

De las tres técnicas que acabo de reseñar, sólo el sistema de satélites en posición global promete ser lo bastante económico como para poder usarlo cuando se trate de misiles crucero de corto alcance. Debido a su breve tiempo de vuelo, tales misiles no necesitan información actualizada de posición. En lugar de ello deben reconocer su objetivo y encaminarse a él. Tratándose de blancos móviles se prefiere, si es posible, la "puntería" mediante radar, pero en el caso de blancos fijos, situados más allá del ángulo de visión, puede usarse el sistema de satélites en posición global, para dirigir el satélite hacia la situación conocida del blanco.

Los adelantos registrados en la tecnología de pequeños motores a reacción han sido igualmente importantes para el desarrollo de los misiles crucero, tanto estratégicos como tácticos. En la actualidad, se dispone de pequeños motores turboventiladores, que pesan menos de 60 kilogramos, capaces de generar un impulso hasta de 272 kilogramos. Los motores de este tipo consumen menos combustible que los turborreactores de tamaño equivalente; sin embargo, son sistemas más complejos, por lo que su coste es mucho mayor. De aquí que los motores turboventiladores sean considerados apropiados para misiles crucero de un alcance superior a los 500 kilómetros, que pueden transportar cargas de alto precio, tales como bombas nucleares, en tanto que el coste de los turborreactores se considera para misiles crucero de menos de 500 kilómetros, que lleven explosivos convencionales de gran potencia.

La diferencia en la eficacia de los dos tipos de motores a reacción se relaciona en parte con la diferencia en la temperatura de los gases de escape que produce cada tipo. Aunque la temperatura de entrada en la turbina, en los motores pequeños de ambos tipos, alcanza aproximadamente los 1010 grados centígrados, un motor turborreactor expele sus gases a una temperatura de 788 grados C, mientras que un motor turboventilador, debido a la mezcla turbulenta a la salida de la turbina, lo hace a 316 grados. Obviamente, este último utiliza de forma más eficaz la energía térmica de su combustible. La diferencia entre las temperaturas de los dos tipos de motor ofrece, por lo tanto, distinta "firma" de infrarrojos. Así pues, en principio, debería ser posible determinar, a una cierta distancia, si un misil, sometido a control, va impulsado por un motor turboventilador o por un motor turborreactor.

El nivel de adelantos en el campo de la microelectrónica ha sido espectacular, pero el desarrollo de pequeños motores a reacción es laborioso. Se tarda muchos años en poner a punto un nuevo motor o en mejorar la eficiencia de otro ya existente en unas pocas unidades porcentuales. Por lo tanto, es razonable suponer que los sistemas de propulsión de los misiles crucero no cambiarán sustancialmente a lo largo de la próxima década, o plazo de tiempo semejante. Cabe esperar pequeñas mejoras en las eficiencias, y, por ende, en el alcance para una cantidad fija de combustible, a medida que se vayan utilizando nuevos materiales compuestos en las paletas de la turbina. Sin embargo, el nivel de

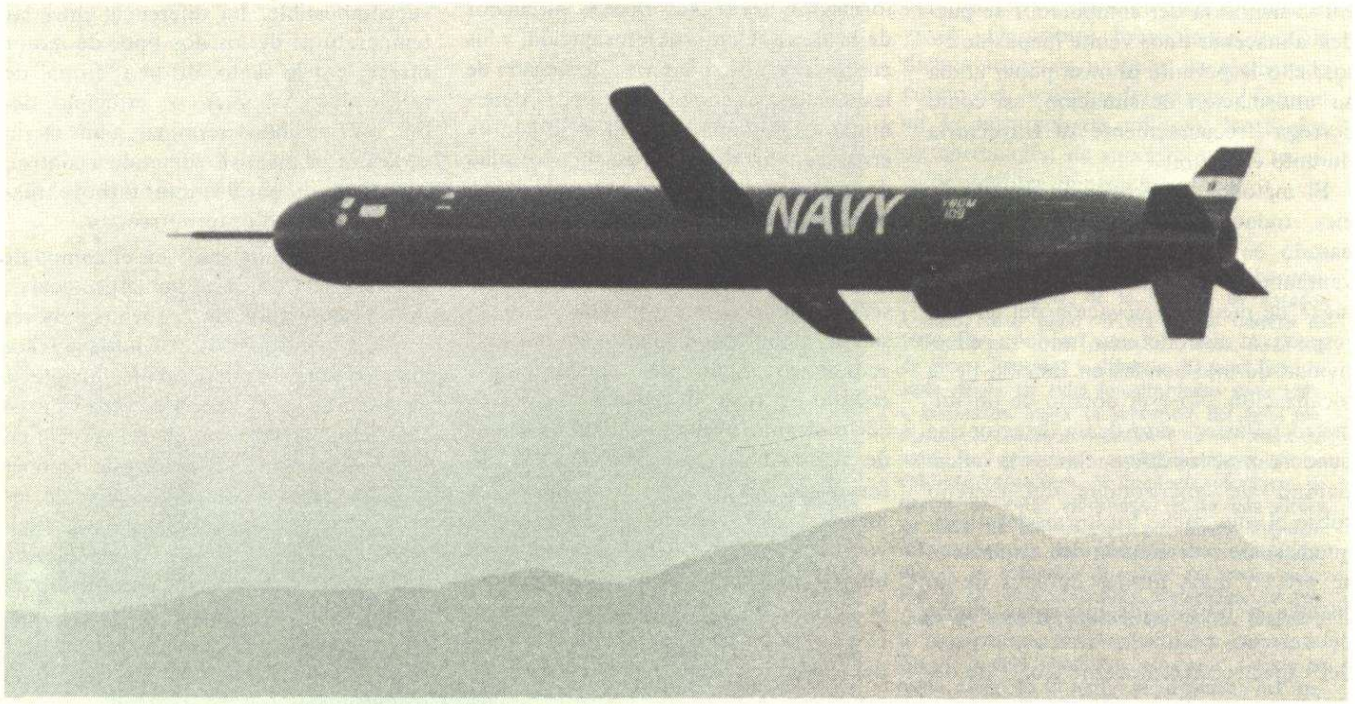
consumo de combustible y de empuje en los pequeños motores no será objeto de avance tecnológico sensacional. Se puede concluir que el perfil aerodinámico del misil crucero no experimentara grandes cambios en un futuro más o menos inmediato.

Los avances tecnológicos que he mencionado ya han sido aplicados a la creación de ciertos tipos de misil crucero en Estados Unidos. Me ocuparé de dos de ellos: el misil anti-barcos Harpoon, que ahora se empieza a producir en serie, y que es, estrictamente, un misil crucero táctico, y el misil crucero para lanzamiento desde el mar (SLCM), que se encuentra todavía en período de proyecto, y del que existen dos versiones, la táctica y la estratégica. Se han elegido estos dos tipos porque, en conjunto, ilustran las ventajas y desventajas específicas de los misiles crucero.

El misil Harpoon es bastante pequeño, ya que mide 34 centímetros de diámetro y 3,84 metros de longitud. Su volumen total ocupa 0,3 metros cúbicos. Desprovisto del cohete acelerador, pesa 523 kilogramos. Puede ser lanzado contra un barco desde un submarino, desde otro barco de superficie, o un avión. También es posible fabricar una versión para su lanzamiento desde bases terrestres. El Harpoon va impulsado por un motor turborreactor, con un empuje de 299 kilogramos y un nivel de consumo de combustible de unos 0,7 kilogramos de combustible, por kilogramo de empuje y por hora de vuelo. Esto le otorga un alcance máximo de aproximadamente 100 kilómetros, a una velocidad de 0,85 mach (85 por ciento de la velocidad del sonido). Como se supone que el motor ha de funcionar únicamente durante un corto período de tiempo, está constituido por muchas piezas de fundición, en lugar de piezas mecanizadas. De aquí que tan sólo opere satisfactoriamente durante un breve lapso, si bien a un coste significativamente menor que el de un motor turboventilador pequeño, destinado a funcionar muchas horas.

El sistema de dirección del misil Harpoon está constituido por un altímetro radárico, que lo mantiene volando a pocos metros sobre la superficie del mar; una unidad de dirección de curso medio, que lo mantiene en un rumbo fijo y un complicado radar explorador activo, que puede detectar un blanco del tamaño de una lancha patrullera, en todas las condiciones climatológicas, aproximadamente a la mitad de su máximo alcance, o un blanco del tamaño de un destructor, a distancias mucho mayores. El misil puede distinguir entre dos blancos, si están suficientemente separados, y orientarse hacia el mayor de ellos. Va dotado de una cabeza nuclear de 227 kilogramos, que penetra en la cubierta del buque objetivo, haciendo explosión en su interior mediante una espoleta de desaceleración. En 32 lanzamientos efectuados desde diversas plataformas marítimas y aéreas, el Harpoon ha alcanzado, en 29 ocasiones, su blanco a distancias operacionales.

Las dos versiones, táctica y estratégica, del misil crucero para lanzamiento desde el mar, tienen 53 centímetros de diámetro, 6,24 metros de longitud, y un volumen de 1,37 metros cúbicos, cuando está desprovisto de su cohete acelerador. Sin la cubierta protectora, en cuyo interior son transportados y lanzados, tienen un peso aproximado de 1478 kilogramos. Las dos versiones pueden ser disparadas desde los tubos lanzatorpedos de un submarino, desde un barco, desde un avión o desde plataformas terrestres. Las distancias exactas que alcanzan las dos versiones son secretas, pero las propiedades aerodinámicas de los mismos indican que la versión estratégica puede alcanzar una distancia de unos 2000 kilómetros volando a baja altura, y quizá un 50 por ciento más si recorre los primeros 1500 kilómetros a gran altura y el resto al nivel del arbolado de un bosque. La versión estratégica va impulsada por un motor turboventilador, con un empuje de 272 kilogramos y un promedio de consumo de combustible a nivel del mar de un kilogramo de combustible por kilogramo de empuje y por hora de vuelo, aproximadamente. A nivel del mar, el misil posee una velocidad de crucero de 0,7 mach y una velocidad máxima de 0,85 mach. Cabría lograr un consumo proporcional de combustible mucho menor a mayores alturas, con un empuje neto más pequeño.

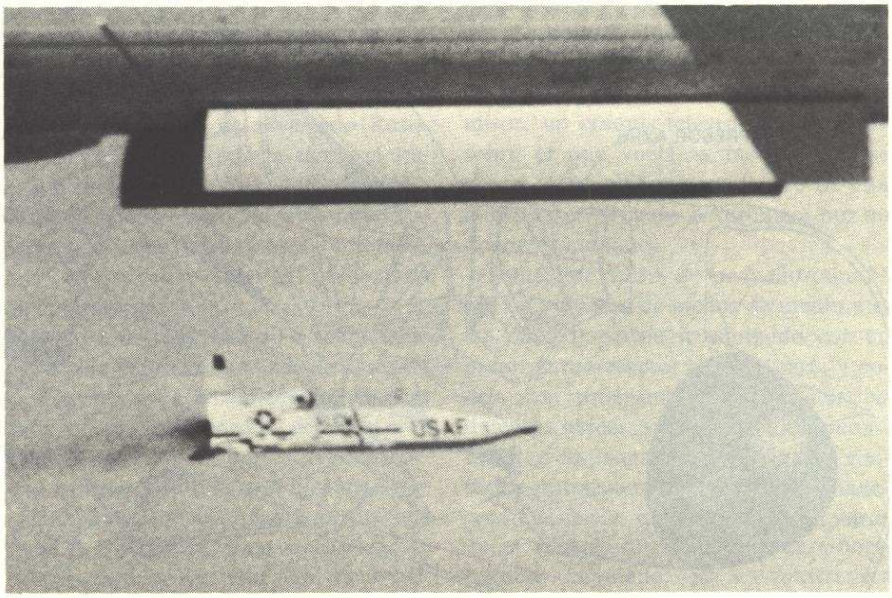


VUELO SOBRE TIERRA de un SLCM, fotografiado durante el transcurso de una prueba reciente para comprobar su capacidad de maniobra. Este modelo va equipado con un motor turborreactor y un sistema de guía de adaptación a la orografía del terreno.

Puesto que el misil no puede volar a velocidades inferiores a 0,44 mach, se utiliza un cohete acelerador, que pone en funcionamiento el dispositivo de lanzamiento e impulsa al misil durante doce segundos. A una altura de 400 metros (suponiendo un ángulo de ascenso de 55 grados), y a una velocidad de 0,55 mach, se pone en marcha el motor turboventilador. No es necesario el cohete acelerador para el caso de lanzamiento de misiles crucero desde un avión.

El conjunto del sistema de dirección del misil crucero de lanzamiento desde el mar consta de un sistema de guía inercial, con una deriva intrínseca de unos 900 metros por hora de vuelo, y un sistema de adaptación a la orografía del terreno. El altímetro radárico del sistema de adaptación al terreno permite que el misil vuele a una altura de 20 metros sobre el agua, a 50 metros sobre un terreno formado por colinas no muy altas y a 100 metros por encima de terreno montañoso. Resulta, pues, difícil detectarlo mediante radares situados en tierra. Los giróscopos de la plataforma de guía inercial necesitan 25 minutos para alinearse, después de haber sido cargado el misil dentro del tubo lanzatorpedos de un submarino, tarea que, a su vez, tarda cinco minutos. Por lo tanto, en el mejor de los casos, el SLCM estratégico puede ser lanzado desde un submarino, en salvas de dos a cuatro (depende del número de tubos lanzatorpedos), una vez cada 30 minutos. El encendido del cohete acelerador bajo el agua genera gran cantidad de energía acústica, que puede detectarse a grandes distancias. Además, el cohete acelerador origina muchas burbujas, que son visibles sobre la superficie del agua durante más de cinco minutos después del lanzamiento; por añadidura, la estela del tubo de escape del acelerador resulta visible en una zona de 80 kilómetros de radio conforme el misil asciende hasta los 400 metros. En consecuencia, la posición del submarino puede determinarse por distintos medios después de que haya lanzado bajo el agua uno o más de sus misiles.

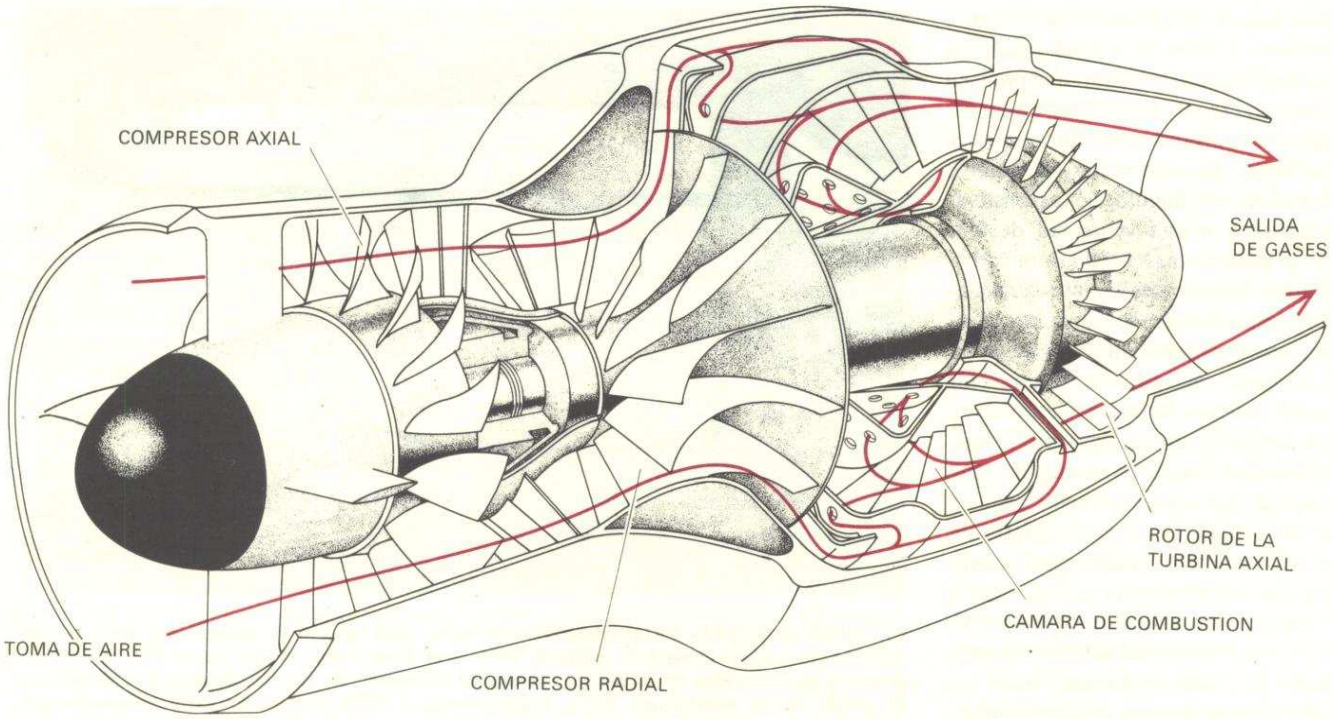
El sistema de cotejo del terreno del misil crucero estratégico de lanzamiento desde el agua está provisto de una docena o más de mapas, sobre los cuales el terreno ha sido registrado en dígitos a intervalos de menos de 100 metros; por su parte, las alturas quedan registradas con un error de menos de 3 metros. Como se supone que el misil ha de volar inicialmente sobre el agua, donde la actualización del emplazamiento es imposible, el primer mapa terrestre se traza con la suficiente amplitud (de una anchura tal vez hasta de 10 kilómetros) como para que el misil no se equivoque de objetivo. El altímetro radárico empieza a efectuar lecturas antes de que el misil vuele sobre una determinada zona del mapa y cesa de hacerlo a una distancia igual, después de haber abandonado dicha zona. El computador utiliza un sencillo algoritmo de desviación absoluta mínima, para cotejar la lectura del altímetro con los puntos del mapa. Hay una redundancia tan grande en los datos del altímetro, que ni los errores de sincronización, ni siquiera los intentos de sabotearlo desde tierra, afectarían al funcionamiento del sistema.



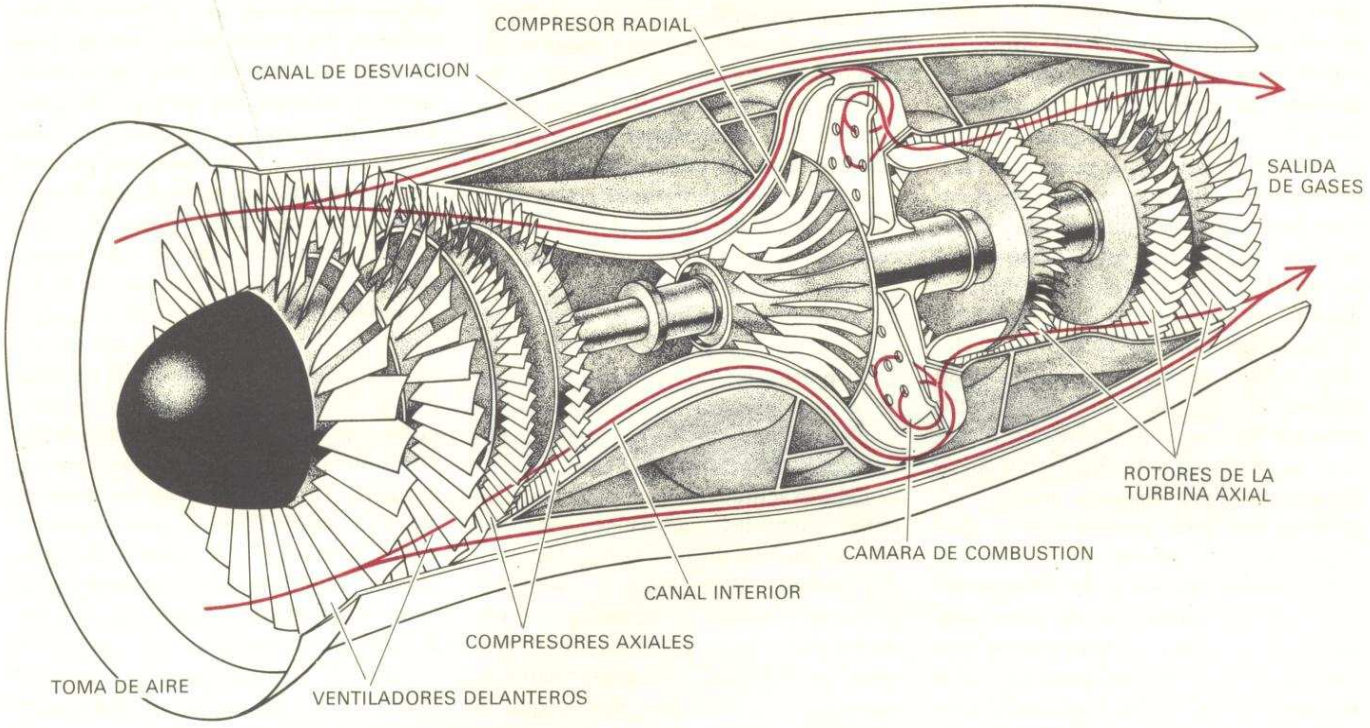
EL PRIMER VUELO PROPULSADO del nuevo misil crucero de lanzamiento desde el aire (ALCM) tuvo lugar el día 5 de marzo de 1976, en el White Sands Missile Range. Este misil, cuyo proyecto corre a cargo de la Boeing Aerospace Company, fue lanzado desde el compartimento de armas de un bombardero B-52, a una altura de 3000 metros. La parte propulsada del vuelo dura unos 11 minutos. En esta fotografía, la toma de aire del motor está abierta, el motor funcionando, los elevones (alerones traseros) están completamente extendidos y el plano de cola vertical se halla desplegando; los alerones delanteros mayores no tardarán en desplegarse.

La precisión con que puede guiarse al misil crucero hasta su objetivo es igual, en el mejor de los casos, al tamaño de una cuadrícula del mapa; en la práctica, la exactitud es, probablemente, la mitad. Como las cuadrículas pueden ser muy pequeñas, de diez metros de lado, por ejemplo, en principio es posible lograr una precisión parecida para el misil. No obstante, un cierto número de factores contribuyen a la degradación de este nivel de exactitud, por lo que se prevé que el misil crucero estratégico de lanzamiento desde el mar pueda errar su objetivo en unos 100 metros, aproximadamente. Se supone que los errores máximos se deberán a fallos humanos en la confección de mapas, desde una elección poco sensata del terreno por cartografiar, hasta la falta de un terreno apropiado para el sistema de cotejo en las cercanías de algún objetivo.

La versión táctica del misil crucero de lanzamiento desde el mar está impulsada por un motor turborreactor que le proporciona un alcance de unos 500 kilómetros. Va guiado por un sistema muy parecido al del misil Harpoon, consistente en una unidad de guía de curso medio, que mantiene al misil en vuelo sobre una línea recta, pero que no lleva a cabo reajustes de vuelo cuando el viento desvía al misil de su rumbo. Además, el misil lleva un radar de exploración, con un alcance comparativamente corto, probablemente de no más de 50 kilómetros, cuya misión estriba en guiarlo hacia el blanco. La unidad guía de curso medio tiene una deriva de dos radianes por hora de vuelo, aproximadamente. De aquí que pueda producirse errores hasta de 40 kilómetros en un vuelo de 500 kilómetros. El misil, cuando está volando, necesita alguna fuente de información externa sobre la posición exacta de su objetivo. La línea visual sobre el agua no se extiende más allá de 50 kilómetros, de modo que la información necesaria no puede ser proporcionada por la plataforma de lanzamiento; ha de ser obtenida por otro vehículo, que puede ser un helicóptero o un avión explorador, el cual debe estar equipado de manera apropiada para identificar el blanco y comunicar la información a la plataforma de lanzamiento o al misil crucero. Cuando la plataforma de lanza-



PEQUEÑO MOTOR TURBORREACTOR desarrollado por Teledyne, Inc., para ser utilizado por el Harpoon, misil crucero contra barcos, de la Marina de los Estados Unidos. El motor desechable, destinado a funcionar menos de 15 minutos, incorpora un gran número de piezas de fundición, no muy caras; su coste se eleva a unos 15.000 dólares. El aire entra por el conducto y pasa a través de un compresor axial y un compresor radial, antes de penetrar en la cámara de combustión anular, donde se mezcla con el combustible, y en donde dicha mezcla se enciende. Antes de su expulsión los gases pasan luego, a alta temperatura, a través de una turbina rotor. La turbina rotor acciona los compresores por medio de un eje de rotación a lo largo del eje del motor. El empuje se produce, únicamente, por la corriente de salida de los productos de combustión de alta temperatura. El peso del motor ronda los 46 kilogramos y puede generar un empuje de unos 300 kgs.



PEQUEÑO MOTOR TURBOVENTILADOR, Un motor turboventilador es, por definición, más eficaz que un motor turborreactor de igual tamaño; resulta también más complejo y lleva un mayor número de piezas elaboradas, por lo que su coste es considerablemente más alto. En el motor turboventilador, las turbinas accionan los compresores del recorrido de circulación del generador de gases y un sistema de ventiladores, el cual obliga a que el aire comprimido pase a través de un canal de desviación. El turboventilador, entonces, induce una fuerza a lo largo de dos corrientes separadas: la corriente del ventilador y la corriente del generador de gases. La proporción entre las dos corrientes se denomina proporción de desviación del motor. El diseño que se muestra en este diagrama se describe como un turboventilador de doble manguito, con baja proporción de desviación del motor y una mezcla de gases de salida. El manguito de baja presión consta de un sistema ventilador axial de dos fases, auxiliado por dos rotores de compresión axial en el recorrido de circulación del generador de gases, accionado todo ello por dos turbinas axiales. El manguito de alta presión consta de un compresor centrífugo simple, que está accionado por una turbina axial.

miento es un submarino, la misión táctica del misil crucero lanzado desde el mar resulta todavía más difícil; su lanzamiento no solamente revelará la posición del submarino, sino que, además, los problemas de captación del blanco y de la identificación "amigo/enemigo" se hacen sumamente complejos. El alcance del sonar del submarino dista mucho de llegar a los 500 kilómetros, y mientras la nave está sumergida, no puede comunicarse ni con el misil crucero ni con la plataforma de observación, que podría ser un avión. La mala adaptación del misil crucero a la capacidad de alcance de identificación del blanco por parte del submarino convierte la versión táctica del misil crucero de lanzamiento desde el mar en un arma de dudoso valor.

La tecnología de los misiles crucero ofrece tal flexibilidad en alcance, bases de lanzamiento y tipos de cabeza de explosión, que permite una variedad casi ilimitada de diseños. Al estudiar las características militares y sus influencias en las conversaciones sobre control de armamentos, he elegido tres tipos de misil, atendiendo a las cuestiones normativas, particularmente espinosas, que suscitan. El primero de ellos es un misil crucero estratégico de largo alcance y gran precisión, dotado de una cabeza de poderoso explosivo convencional; el segundo, que aún se halla en proyecto, es un misil crucero estratégico aerotransportado, dotado de una cabeza nuclear; el tercero es un misil táctico de corto alcance, con base de lanzamiento terrestre o marítima, dotado de una cabeza convencional.

Existen pocas dudas respecto a que las técnicas de dirección existentes o en fase de desarrollo puedan proporcionarle al misil crucero estratégico una precisión total al final de un vuelo de cinco mil kilómetros. Este alto grado de precisión hace posible la utilización de cabezas convencionales, en lugar de nucleares, contra cierto tipo de objetivos, tales como grandes instalaciones de radar, plantas industriales, refinerías de petróleo y otras. Se ha propuesto que los Estados Unidos produzcan un misil crucero que pueda transportar una gran cabeza convencional de alto poder explosivo, a distancias intercontinentales, con un error no mayor de 10 metros. Este arma tendría aproximadamente un volumen de dos metros cúbicos (algo mayor que el misil crucero normal de lanzamiento desde el mar) y sería transportado por barco o por avión de carga; también podría ser lanzado desde una base terrestre. Si se fabricara un número bastante grande de ellos, afirman los que propugnan su creación, ello permitiría contar con la posibilidad de una respuesta no nuclear, frente a alguna acción, hipotéticamente coercitiva, del adversario (Rusia, por ejemplo). Esto podría elevar el umbral de represalia nuclear, capacitando a Estados Unidos para destruir objetivos específicos, con un daño colateral mínimo y sin las onerosas cargas políticas de un ataque nuclear.

El segundo tipo de misil crucero, cuyo desarrollo se está tomando seriamente en consideración en Estados Unidos, es el misil crucero lanzado desde el aire (ALCM). Se espera que la versión normal de este misil tenga un alcance aproximadamente igual a la mitad del que tiene el misil estratégico lanzado desde el mar. Está proyectado para ser transportado por el bombardero intercontinental B-52, o por el nuevo bombardero supersónico B-1. Armados con tales misiles, los bombarderos no tendrían que penetrar en las defensas aéreas terminales del adversario; simplemente, podrían llegar hasta un lugar determinado y lanzar desde allí los misiles de largo alcance contra sus objetivos. Los defensores del misil crucero de lanzamiento desde el aire afirman que, desde un lugar determinado "alejado de las líneas enemigas", el avión transportador no habría de cruzar las defensas aéreas del adversario, por lo que no sería necesario que desarrollara una velocidad supersónica, ni sistemas complicados de contramedidas, ni estar capacitado para volar muy bajo y muy rápido, con el fin de eludir su descubrimiento y evitar su caza. En otras palabras, no habría de ser, en absoluto, un avión de combate. De hecho, se argumenta, cabría la posibilidad de que un reactor de transporte de gran capacidad, verbigracia, el Boeing 747, o el McDonnell Douglas DC-10, pudiera transportar aproximadamente 100 misiles crucero de éstos. Los aviones comerciales de este tipo tienen una mayor autonomía de vuelo sin repostar que el B-52 o el B-1. Si se les armara con misiles crucero de lanzamiento desde el aire, podrían reemplazar al bombardero B-52, con un coste menor que el del propuesto B-1.

La tercera posible versión del misil crucero sería un misil táctico, con un alcance máximo de 500 kilómetros y una cabeza de alto poder explosivo, cuyo peso variaría entre 181 y 227 kilogramos. Según sus patrocinadores, este misil podría ser guiado exactamente contra su objetivo con la ayuda del sistema de satélites en posición global o mediante cualquier técnica de reconocimiento normal; podría incluso ir provisto de un sistema para devolver, por medio de un avión o un satélite retransmisor, un croquis televisivo del terreno sobre el que vuela, a medida que se acerca a su objetivo, pudiendo de esta manera ser dirigido a distancia por un operador humano.

Semejante misil de pequeño tamaño (de un volumen de menos de medio metro cúbico) podría ir equipado con un motor turborreactor no muy caro, y podría ser programado para evitar las defensas aéreas, volar a una altura constante y funcionar bajo cualquier condición atmosférica. Sus propugnadores mantienen que podría reemplazar en muchas de sus misiones al caza-bombardero tripulado. Si se construyera en grandes cantidades, el coste por misil podría ser de unos cincuenta mil dólares. Por el contrario, el avión táctico tripulado suele costar más de diez millones de dólares, y requiere una gran fuerza operativa de portaaviones para ser transportado hasta un punto situado dentro del alcance de su radio de acción. Una fuerza operativa normal puede desplegar tan sólo treinta y seis aviones de combate, capaz cada uno de ellos de lanzar una tonelada de bombas por misión, con menos precisión que la que se conseguiría utilizando misiles crucero. La totalidad de la fuerza operativa, cuyo coste es de muchos miles de millones de dólares, podría ser reemplazada por una fuerza naval, capaz de lanzar ciento ochenta misiles cruceros tácticos por día, compuesta por una variedad de barcos menos vulnerables y más baratos que los portaaviones. Por último, los defensores de esta versión del misil crucero puntualizan que éste podría reemplazar a la totalidad de las armas nucleares tácticas estadounidenses que se hallan instaladas en Europa.

En combinación con misiles dirigidos de corto alcance y gran precisión, con base en tierra, y vehículos pilotados a distancia, que lleven a cabo las misiones de observación del avión tripulado, el misil crucero táctico, armado con una cabeza de guerra de explosivo químico, puede desplazar por completo a los cazabombarderos tripulados, así como a su grande y costosa "cola" logística del arsenal de Estados Unidos.

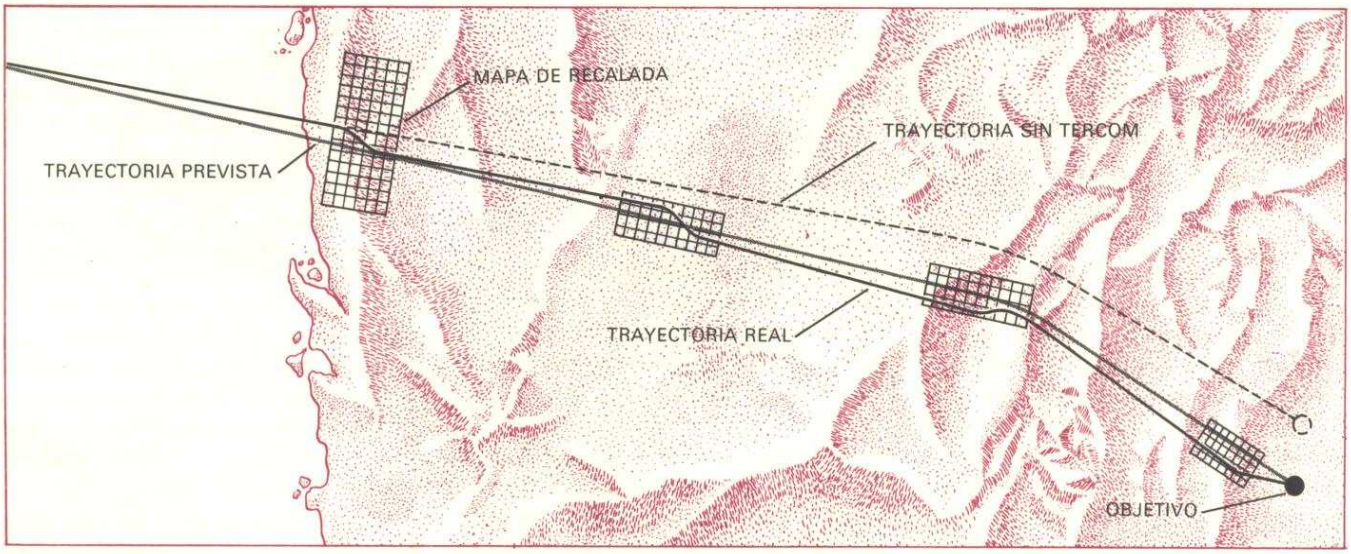
Un programa de este tipo significaría un cambio profundo en la totalidad de la postura militar estadounidense, ya que representaría el abandono del avión tripulado, de alto coste y poco desgaste, para reemplazarlo por el misil

crucero de bajo coste y fácilmente renovable. Semejante perspectiva suscita una serie de cuestiones técnicas, militares y de control de armamentos que no han sido examinadas hasta ahora.

Debido al pequeño tamaño, gran precisión y bajo coste de los misiles crucero, podría parecer que son necesariamente superiores a los misiles balísticos, como vehículos de lanzamiento, para distancias superiores a los 10 kilómetros e inferiores a los 5000 kilómetros. Sin embargo, la gran duración del vuelo de los misiles crucero estratégicos y la velocidad subsónica con que se aproximan a sus objetivos los hacen muy vulnerables a las contramedidas que pueda tomar el enemigo. Por el contrario, si no hay un sistema de misiles antibalísticos, ningún misil balístico puede ser interceptado antes de alcanzar su objetivo, una vez que se ha lanzado. Si bien el resultado de un ataque estratégico con misiles balísticos es relativamente certero y controlado, un ataque efectuado con misiles crucero resulta incierto, pues su éxito depende en gran manera de la defensa aérea del país atacado. Aunque la precisión y el alcance de los misiles crucero sugieren que podrían desempeñar con éxito un papel de disuasión, su velocidad relativamente baja los hace menos apropiados que los misiles balísticos para esta misión estratégica en particular. Al objeto de estar seguros de que los misiles crucero llegarían hasta sus objetivos, habría que emplear gran número de ellos contra cada objetivo, con el fin de saturar las defensas aéreas. Esto requeriría un enorme despliegue de misiles de este tipo, lo que constituiría una evidente violación de la cuota numérica establecida para vehículos de lanzamiento estratégico en el acuerdo de Vladivostok. Sin embargo, con independencia del número de misiles crucero instalados en un país, resultaría imposible comprobar su número a través de una inspección no directa, ya que estos misiles no requieren instalaciones de lanzamiento, tales como silos, tubos de lanzamiento submarino o aeropuertos. En consecuencia, resulta técnicamente imposible ajustar los misiles crucero al tipo de limitación numérica, establecida en las SALT II, para los misiles balísticos. La totalidad del problema de limitación de misiles crucero se complica aún más, debido al hecho de que incluso durante la comprobación del arma tan sólo sería posible deducir, de los datos obtenidos del satélite, el alcance máximo compatible con las características visibles del misil, pero no su alcance real. Por lo tanto, en la actualidad resulta imposible determinar si un misil crucero lanzado desde el mar tiene una misión estratégica o táctica.

Todas estas consideraciones podrían llevar a la conclusión de que Estados Unidos no tiene otra alternativa que, o bien cesar en todo esfuerzo ulterior por controlar la proliferación de armas nucleares, y seguir adelante con el despliegue de misiles crucero, o, con el fin de atenerse a los acuerdos logrados en las SALT, y la oportunidad de una posterior limitación de armas estratégicas, renunciar al despliegue del misil crucero en su conjunto. No obstante, semejante conclusión no parece justificada. Un examen cuidadoso de las misiones tácticas y estratégicas que los misiles crucero, actuales y futuros, podrían desarrollar, así como la necesidad de contar con plataformas de lanzamiento en cada caso, revela que las aplicaciones de este vehículo de lanzamiento, que tengan sentido en términos militares, no son incompatibles con los objetivos de limitación de armamentos, en general, y con la disminución en el número de vehículos de lanzamiento estratégico en particular. Por lo demás, parece que los misiles crucero específicos que amenazan a las negociaciones SALT son innecesarios para la seguridad de Estados Unidos o son aplicaciones arriesgadas y apresuradas de nuevas tecnologías que carecen de posibilidades militares.

Examinemos el misil crucero estratégico, de lanzamiento desde el mar, actualmente en una fase avanzada de desarrollo. Este sistema no puede llevar a cabo ninguna nueva misión, ni efectuar con mejor rendimiento ninguna de las misiones estratégicas desplegadas por la "terna" de Estados Unidos, formada por misiles balísticos intercontinentales de lanzamiento desde bases terrestres (ICBM), misiles balísticos de lanzamiento submarino (SLBM) y bombarderos



EL SISTEMA DE ADAPTACION AL CONTORNO del terreno, denominado abreviadamente Tercom, es una técnica de guía terminal, cuyo desarrollo va a la par que el programa de misiles crucero. El sistema se basa en la confección de mapas digitales, que quedan almacenados en la memoria del computador instalado a bordo del misil. Los mapas constan de series rectangulares de cuadrículas numeradas, que representan las alturas del terreno sobre el nivel del mar, en función de la localización. Cuando el misil se aproxima a una zona, de la cual lleva un mapa el computador, el altímetro radárico situado a bordo empieza a proporcionar una serie de datos relativos a las alturas del terreno. El computador, comparando estos datos con la información que almacena en su memoria, puede determinar exactamente la trayectoria

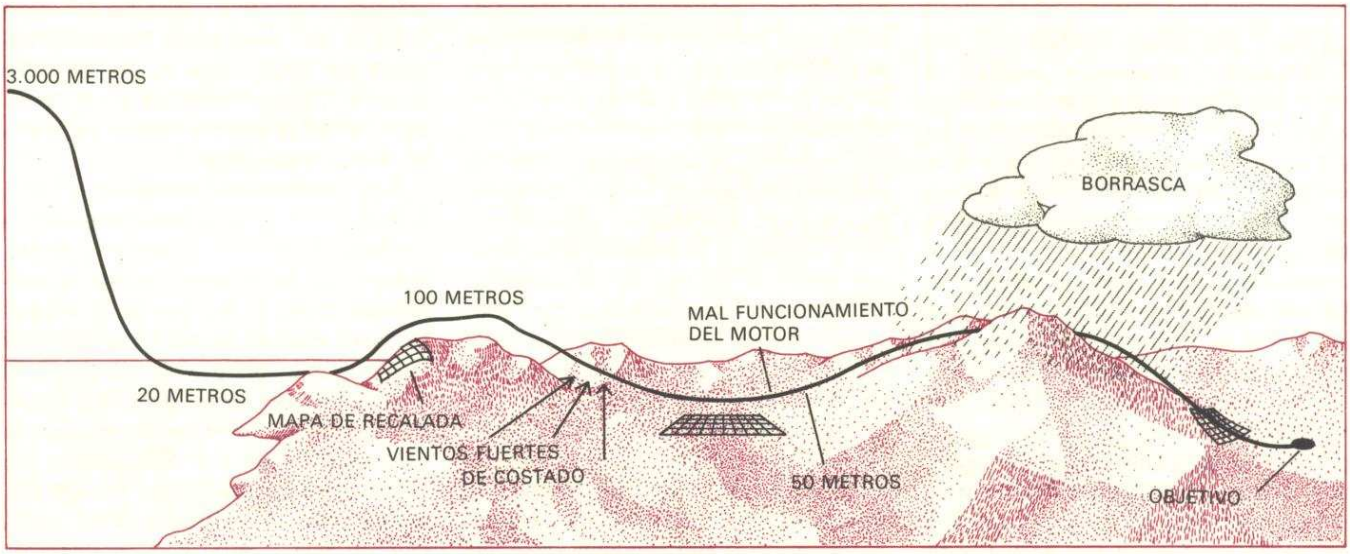
intercontinentales. Por otra parte, el lanzamiento de un misil crucero de este tipo desde submarinos para misiles balísticos incrementaría su vulnerabilidad, debido, en primer lugar, a que los submarinos habrían de abandonar sus actuales bases seguras y aproximarse a aguas territoriales de la URSS, y, en segundo lugar, porque el lanzamiento de un misil crucero revelaría la posición del submarino a una distancia de cientos de kilómetros. Sería temerario reducir la invulnerabilidad del sistema de armamento de disuasión más seguro que, de esta forma, podría lanzar, cuando más, cuatro misiles crucero de suerte incierta, cada treinta minutos, mientras que el mismo submarino puede permanecer en aguas seguras y lanzar 16 misiles Poseidón o Trident I, con 10 cabezas de explosión cada uno, en menos de cinco minutos, originando mucho menos ruido bajo el agua.

El despliegue de un número limitado de misiles crucero de largo alcance, a bordo de submarinos anti-submarinos, puede parecer una medida militarmente eficaz en cuanto a su coste, ya que forzaría a un eventual adversario a considerar a cada submarino nuclear de los Estados Unidos como un sistema de lanzamiento nuclear estratégico, haciendo necesario un incremento en la capacidad de guerra anti-submarina del enemigo. Sin embargo, tal política no está exenta de inconvenientes. El primero de ellos es que, al imponer un papel estratégico a los submarinos anti-submarinos, sus sistemas de control y mando se complicarían muy seriamente, con lo cual empeorarían sus posibilidades operativas. En segundo lugar, lo que quizá es más significativo, el despliegue de misiles nucleares estratégicos a bordo de submarinos anti-submarinos podría disminuir el índice de seguridad de la flota estadounidense de disuasión, integrada por submarinos dotados con misiles Polaris y Poseidón, no sólo suscitando un rápido crecimiento de la capacidad de guerra antisubmarina soviética, sino eliminando también la distinción entre submarinos tácticos y estratégicos y, como consecuencia inmediata, poniendo fin a la actual política de inhibición de ataques contra submarinos estratégicos. En pocas palabras, el desarrollo de misiles crucero estratégicos se presenta a un tiempo como innecesario e imprudente.

El hipotético misil crucero estratégico, dotado de una cabeza de explosivo químico, adolece de un conjunto de desventajas fundamentales. En principio, este misil podría ampliar las posibilidades de opciones estratégicas de que disponen los Estados Unidos, ya que permitiría la destrucción segura de objetivos seleccionados, militares o industriales, sin necesidad de recurrir al empleo de explosivos nucleares. Sin embargo, es de suponer que tales objetivos estarían en la URSS protegidos por defensas aéreas pasivas o activas, de tal manera que un misil crucero subsónico no podría penetrar en ellas fácilmente; además, a esta defensa se añadiría la vulnerabilidad de los misiles crucero, lo que tendría como resultado que un ataque con ellos resultaría muy inseguro. Evidentemente, las armas de resultados no muy seguros son ineficaces desde el punto de vista de la disuasión, incluso contra las más pequeñas provocaciones, al no poseer la capacidad de destruir con plena certeza los objetivos previstos. Así como la existencia de un sistema antibalístico eficaz podría haber acabado con el papel disuasorio de los misiles balísticos, un futuro sistema muy avanzado de defensa aérea despojaría de igual papel a los misiles crucero, en particular a los dotados de cabezas de guerra con explosivo químico.

Un misil crucero, dotado de una cabeza de guerra de explosivo químico haría aún más confusa la distinción entre armas estratégicas, de las cuales se supone actualmente que son nucleares, y armas tácticas, que no suelen ser nucleares. Esta circunstancia haría muy difíciles las negociaciones sobre limitación de armas estratégicas, al sumarlas a los empeños por disminuir los armamentos tácticos y al hacer confusa la distinción entre explosivos químicos y nucleares.

El misil crucero de largo alcance y de lanzamiento desde el aire podría tener en principio una aplicación militar práctica. La versión de este arma, hoy en desarrollo, se halla condicionada por limitaciones artificiales respecto a tamaño y combustible, las cuales disminuyen



real del misil, y dar instrucciones al piloto automático para que sitúe al misil en la trayectoria correcta. En la ilustración de la izquierda se muestra cuatro de estas maniobras correctoras. A la derecha se representa una perspectiva del vuelo terminal del misil. Para lograr una economía del combustible durante la primera fase del vuelo, éste habría de efectuarse a gran altura. En la fase de penetración del vuelo a baja altura, el misil podría volar a una altura no más alta de veinte metros sobre el nivel del mar, 50 metros sobre un terreno de colinas suaves y 100 metros sobre montañas, lo que hace difícil la localización del misil por medio de radares situados en tierra. Entre los factores que pueden dar lugar a que el misil se desvíe de su trayectoria se cuentan los cambios inesperados en las condiciones climatológicas.

mucho su alcance, fijándolo en aproximadamente la mitad del alcance del misil crucero de lanzamiento desde el mar, y haciéndola inapropiada como arma de apoyo. No obstante, una futura versión, capaz de efectuar recorridos más largos, y transportada mediante grandes aviones de carga, podría reemplazar al bombardero B-52 en la década de los años noventa, haciendo innecesario el desarrollo del costoso bombardero B-1. El despliegue de un misil crucero de este tipo originaría dificultades en relación con los problemas de control de armamentos, ya que no sería posible conocer con seguridad el número de misiles de que se dispone. Una solución viable sería llegar a un acuerdo respecto al número de portaaviones que pudieran transportarlos y contabilizar cada avión relacionándolo con un número convenido de misiles balísticos equipados con vehículos de reentrada, capaces de lograr blancos múltiples independientes (MIRV). Si todos los misiles balísticos provistos del dispositivo MIRV con base en tierra fueran reemplazados por un número equivalente de aviones de carga que llevaran misiles crucero de lanzamiento desde el aire, el resultado final podría ser un equilibrio estratégico más estable entre Estados Unidos y la URSS, por dos razones. La primera de ellas es que el largo tiempo de vuelo de los misiles crucero, y su vulnerabilidad frente a las defensas, excluyen su utilización como armas de ataque principal, y, la segunda, que si su emplazamiento se proyecta de manera apropiada, podría hacerlos mucho menos vulnerables que lo son ahora a un ataque por sorpresa.

A pesar del efecto estabilizador que semejante proposición implica, el desarrollo de misiles crucero de lanzamiento aéreo y de gran alcance da lugar a algunos problemas muy graves de comprobación. Por ejemplo, si los misiles crucero fueran instalados a bordo de reactores Jumbo como el 747 o el DC-10, ¿cómo podría determinarse, sin una inspección directa, cuál de estos aviones es de transporte civil y cuál lleva misiles crucero estratégicos, dotados de cabezas nucleares? Por otra parte, una vez que se permita el desarrollo y las pruebas de dichos misiles, ¿cómo podría otra nación estar segura del número de misiles fabricados en Estados Unidos, o del modo en que vaya a efectuarse su desarrollo?

Por ejemplo, la URSS podría albergar el temor de que Estados Unidos, además del número permitido de misiles crucero de lanzamiento desde el aire, desarrollara secretamente otros muchos misiles crucero auxiliados por cohetes secundarios, para lanzarlos desde el mar o desde tierra en países aliados, cuya situación geográfica les permitiera alcanzar con facilidad las zonas interiores de Rusia. En consecuencia, no parece posible llevar a cabo un despliegue de misiles crucero de largo alcance sin que se tambaleen los futuros empeños de limitación de armas estratégicas.

Existen otros factores que se oponen a semejante despliegue, y ello aunque se pudiera negociar con éxito una fórmula para la comprobación del número de plataformas destinadas a misiles crucero de lanzamiento desde el aire y de las bases dedicadas a tales misiles. Si las experiencias anteriores pueden considerarse como una guía para la conducta futura, resulta casi evidente que un despliegue de misiles crucero estratégicos por parte de Estados Unidos obligaría a Rusia a llevar a cabo un contradespliegue. Y, lo que es aún peor, el desarrollo por parte de Estados Unidos de dicha arma, revalorizaría el papel del misil crucero a los ojos de otras naciones, que desean poseer un vehículo de lanzamiento seguro y barato, y que podrían decidirse a desarrollar un misil parecido, capaz de alcanzar a Estados Unidos. En consecuencia, este país se vería obligado entonces a establecer un sistema de defensa aérea muy costoso, no solamente contra los misiles crucero rusos, sino también contra los misiles crucero de otros países. Semejante sistema no ha sido necesario hasta el momento, ya que no existía una amenaza real por parte de la URSS, o de cualquier otro país. No debería olvidarse que el despliegue de un sistema de antimisiles balísticos en Estados Unidos se justificó sobre parecidos razonamientos: es decir, como defensa contra misiles balísticos chinos, más que rusos.

A diferencia de los estratégicos, los misiles crucero tácticos ofrecen considerables ventajas militares, sin plantear graves problemas a la mesa de negociaciones sobre el control de armamentos.

Como lo ha demostrado el misil Harpoon, se puede desarrollar un misil crucero de pequeño tamaño, impulsado por un motor turborreactor de bajo coste y que posea el alcance y precisión necesarios para su empleo en situaciones prácticas en el campo de batalla. En cambio, el misil crucero táctico de lanzamiento desde el mar resulta inapropiado para las condiciones operativas de una batalla naval, amén de muy inseguro; por añadidura, su espectacular lanzamiento afecta negativamente a la seguridad del submarino desde el que se lanza, ya que pone al descubierto su posición. El SLCM táctico es el ejemplo perfecto de un mal uso de la tecnología del misil crucero: ocasiona graves problemas en el terreno del control armamentista ya que no se le puede distinguir del SLCM estratégico por su apariencia externa, y no incorpora ninguna ventaja militar sustantiva.

El misil crucero táctico propuesto, dotado de una cabeza de explosivo químico, es quizá la aplicación más sensata de los nuevos adelantos tecnológicos que han hecho factibles los misiles crucero. Con un volumen de medio metro cúbico y provisto de un motor turborreactor, puede ser identificado, mediante satélites, como un misil táctico. Aunque dicha identificación no sea tal vez posible utilizando los sistemas normales, excepto sobre el agua, se cuenta en la actualidad con la tecnología adecuada para desarrollar un satélite de reconocimiento, que podría ser programado para detectar, seguir la pista e identificar señales de infrarrojos en la atmósfera; de este modo se podría diferenciar un misil crucero estratégico de un misil crucero táctico, durante las pruebas.

El funcionamiento de tal sistema de vigilancia podría ser anulado por capas de nubes; por lo tanto, no podría verificar con certeza que otro país cumpliera lealmente las cláusulas de un tratado que prohibiera el desarrollo de misiles crucero de larga distancia. Sin embargo, como ningún país tendría razones para ocultar una actividad semejante aprovechándose de las capas de nubes, resultaría posible desarrollar y distribuir las armas tácticas que pudieran reemplazar a los cazabombarderos tripulados, sin temor a que fuesen confundidos por Rusia con misiles de largo alcance y, por lo tanto, sin poner en peligro los esfuerzos por limitar las armas nucleares estratégicas.

Dos conclusiones principales pueden extraerse del análisis precedente de las características de la función y la tecnología de los misiles crucero existentes, así como de los que puedan desarrollarse más adelante. La primera es que, con una sola posible excepción, el desarrollo y despliegue de misiles crucero estratégicos, en estos momentos, es contraproducente por tres razones: son innecesarios; su despliegue haría fracasar los acuerdos existentes sobre limitación de armas estratégicas y obstruiría los empeños similares futuros; su instalación en submarinos nucleares incrementaría la vulnerabilidad de éstos y, probablemente, disminuiría la eficiencia operativa de tan importante fuerza de

disuasión. La única posible excepción sería una versión futura de un misil crucero, que pudiera ser colocado en aviones de transporte, en lugar de bombarderos de largo alcance. No obstante, el precio de tal sistema no debe valorarse únicamente en dólares sino también en función de la pérdida de oportunidades de alcanzar un control de armamentos, de la aparición de nuevas amenazas contra este país y de la renuncia a establecer tope para las armas estratégicas.

La segunda conclusión es que los criterios negociables, para establecer una diferencia entre versiones estratégicas y tácticas de los misiles crucero, pueden, y deberían, estudiarse e incorporarse en el proyecto de los futuros misiles crucero. Los criterios de limitación deben fundarse en variables físicas observables, tales como el volumen de un misil crucero, o el tipo de motor con el que va equipado, en lugar de sobre variables no verificables, tales como el alcance del misil o el tipo de cabeza explosiva que transporta. Por ejemplo, se puede distinguir entre misiles crucero estratégicos y tácticos, definiendo como táctico cualquier misil que (1) tenga un volumen de menos de medio metro cúbico, (2) vaya impulsado por un motor turborreactor y (3) tenga un empuje inferior a los 272 kilogramos. Por el contrario, un misil estratégico sería aquel cuyo volumen excediera el medio metro cúbico y fuese impulsado por un motor turboventilador.

Las características físicas expuestas anteriormente pueden ser detectadas desde satélites de reconocimiento orbital, y no imponen (al menos en lo que respecta a Estados Unidos) ninguna restricción práctica en lo que se refiere al diseño de los misiles crucero, ya que, en cada caso, las variables físicas observables se elegirían para que encajaran en los criterios de limitación propuesto por razones tácticas y económicas. Los satélites de reconocimiento pueden proporcionar a Estados Unidos información acerca de que quizá está ocurriendo algo en la URSS, pero no pueden asegurar que algo no está ocurriendo. En consecuencia, aunque Estados Unidos pueda confiar en dichos sistemas de vigilancia, en lo relativo a obtener pronta información sobre el avance de los misiles crucero en la URSS, tales sistemas no pueden llevar a cabo una comprobación exacta que permitiera al senado de Estados Unidos ratificar, con pleno conocimiento, un tratado con la URSS, en que se prohibiese el desarrollo de misiles crucero estratégicos. Tales sistemas de control sí permitirían a Estados Unidos adoptar restricciones unilaterales en el desarrollo y despliegue de misiles crucero de largo alcance, al mismo tiempo que podrían invitar a la URSS a que concordara en una restricción similar. Estados Unidos puede tener la certeza de que con los sistemas de vigilancia dotados de las capacidades mencionadas puede detectar un eventual desarrollo de misiles crucero de largo alcance desde los comienzos, dándole oportunidad de cesar su restricción unilateral, con tiempo suficiente si así lo decide.

Se puede asumir una posición de restricción unilateral por dos razones. En primer lugar, no sería necesario reaccionar urgentemente, en caso de que se descubriera que la URSS estuviera fabricando misiles crucero de largo alcance, ya que, de acuerdo con los cálculos oficiales, Estados Unidos le lleva al menos diez años de adelanto a la URSS en lo que se refiere a las tecnologías significativas para el desarrollo de los misiles crucero. En segundo lugar, es evidente que la estabilidad del equilibrio estratégico entre los dos países, teniendo en cuenta los muchos miles de cabezas nucleares preparadas para ser lanzadas, a disposición de ambos, no puede alterarse, a menos que uno de los dos disponga de muchos miles de misiles crucero de largo alcance, armados con cabezas nucleares. Por lo demás, un despliegue semejante necesitaría para consumarse varios años, y sería detectado muy pronto por los satélites de vigilancia del enemigo. Una política de restricción unilateral, en el desarrollo y despliegue de misiles crucero de largo alcance por parte de Estados Unidos, no sólo resultaría segura y deseable desde el punto de vista de la economía, sino que permitiría además el desarrollo de un misil crucero táctico eficaz.

Dicha política obligaría a establecer una serie de estipulaciones respecto a la capacidad de reconocimiento de ambas partes. Para el éxito de los esfuerzos actuales y venideros en pro de la limitación de armas estratégicas, es indispensable mirar hacia el futuro y definir qué posibilidades de reconocimiento serán necesarias para controlar estas armas. La nueva tecnología que ha hecho posible el misil crucero puede usarse también para crear sistemas de vigilancia dotados de la capacidad necesaria para garantizar el cumplimiento de las condiciones establecidas, a partir de los criterios aquí expuestos. Lo que ha faltado hasta ahora es una dirección política con la voluntad y la capacidad de explotar la tecnología para controlar las armas nucleares, más que para su proliferación.

POLITEIA

236 págs. 150 Ptas.

De acuerdo con la interpretación de este libro, la crisis española de nuestros días es la crisis de un Estado insuficiente, que aun siendo herencia de épocas pasadas, adquiere su fisonomía actual a raíz de la guerra civil.

El régimen franquista aparecería, por tanto, no sólo como continuador de los objetivos de ese Estado, sino también como la fórmula de dominación autoritaria para mantener su arcaica estructura.

A partir de esta tesis, Jorge de Esteban y Luis López Guerra, profesores de la Universidad Complutense de Madrid, analizan las manifestaciones de dicho Estado, en diversos sectores de la vida social y política española, así como su capacidad estructural para enfrentarse a las exigencias actuales de una sociedad moderna.

También en **POLITEIA:**
Jorge de Esteban y otros
EL PROCESO ELECTORAL

384 págs. 200 Ptas.

En preparación:
García Villarejo
ESPAÑA ANTE LA CRISIS ECONOMICA ACTUAL

Martínez Cuadrado
SOCIOLOGIA ELECTORAL DE LA ESPAÑA ACTUAL

EDITORIAL LABOR, S. A.

Bibliografía

Los lectores interesados en una mayor profundización de los temas expuestos pueden consultar los trabajos siguientes:

LOS DISTINTOS TIPOS DE FOTOSINTESIS Y SU REGULACION

LA BASE MOLECULAR DE LA VIDA. *Selecciones de Scientific American.* Editorial Blume, 1971.

METALLOENZYMES OF THE NITRATE-REDUCING SYSTEM. M. Losada en *J. Molec. Catal. 1,* 245 (1976).

POTENCIOMETRIA Y BIOENERGETICA. A. M.ª Relimpio, J. M.ª Vega, M. G. Guerrero y M. Losada, Publicaciones de la Universidad de Sevilla, en prensa.

PODER REDUCTOR Y LA REGULACION DE LA FOTOSÍNTESIS. M. Losada en *Avances de la Bioquímica en España.* Fundación Juan March, en prensa.

MISILES CRUCERO

THE CRUISE MISSILE AND ARMS CONTROL. Richard Burt en *Survical,* vol. 18, n.º 1, págs. 10-17; enero-febrero, 1976.

EFFECTIVE MILITARY TECHNOLOGY FOR THE 1980s. Richard L. Garwin en *International Security,* vol. 1, n.º 2, págs. 50-77; otoño, 1976.

THE CRUISE MISSILE: THE END OF ARMS CONTROL? Alexander R. Vershbow en *Foreign Affairs,* vol. 54, n.º 4, págs. 133-146; octubre, 1976.

FOBOS Y DEIMOS

MARINER 9 TELEVISION OBSERVATIONS OF PHOBOS AND DEIMOS, 2. J. B. Pollack, J. Veverka, M. Noland, C. Sagan. T. C. Duxbury, C. H. Acton Jr., G. H. Born, W. K. Hartmann y B. A. Smith en *Journal of Geophysical Research,* vol. 78, n.º 20, págs. 4313-4326; julio 10, 1973.

A MARINER 9 ATLAS OF THE MOONS OF MARS. Joseph Veverka, Michael Noland, Carl Sagan, James Pollack, Lynn Quam, Robert Tucker, Botand Eross, Thomas Duxbury y William Green en *Icarus,* vol. 23, n.º 2, págs. 206-289; octubre, 1974.

PHOBOS: CONTROL NETWORK ANALYSIS. Thomas C. Duxbury en *Icarus,* vol. 23, n.º 2, págs. 290-299; octubre, 1974.

COMUNICACIONES INTERCONTINENTALES POR SATELITE

THE BEGINNINGS OF SATELLITE COMMUNICATIONS. J. R. Pierce. San Francisco Press, Inc., 1968.

SATELLITE COMMUNICATIONS ENGINEERING. K. Miya. Lattice Company, Tokio, 1975.

COMMUNICATION SATELLITE DEVELOPMENTS. Dirigido por G. E. La Vean y W. G. Schmidt en *Progress in Astronautics and Aeronautics: vols. 41 y 42.* American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1976.

SATELLITE COMMUNICATIONS SYSTEMS. Dirigido por I. Kadar en *AIAA Selected Reprint Series: Vol. XVIII.* American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1976.

EL ORIGEN DE LA ATEROSCLEROSIS

EVIDENCE FOR A MONOCLONAL ORIGIN OF HUMAN ATHEROSCLEROTIC PLAQUES. Earl P. Benditt y John M. Benditt en *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,* vol. 70, n.º 6, págs. 1753-1756; junio, 1973.

THE CORONARY DRUG PROJECT: FINDINGS LEADING TO DISCONTINUATION OF THE 2.5-MG/DAY ESTROGEN GROUP. The Coronary Drug Project Research Group en *The Journal of the American Medical Association,* vol. 226, n.º 6, págs. 652-657; noviembre 5, 1973.

IMPLICATIONS OF THE MONOCLONAL CHARACTER OF HUMAN ATHEROSCLEROTIC PLAQUES. E. P. Benditt en *Beiträge zur Pathologie,* vol. 158, n.º 4, págs. 405-416; septiembre, 1976.

LA SEPARACION DE ISOTOPOS CON LASER

ISOTOPE SEPARATION PROCESSES. William Spindel en *American Chemical Society Symposium Series: No. 11.* American Chemical Society, 1975.

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDIES OF LASER ISOTOPE SEPARATION. Jack P. Aldridge III, John H. Birely, Cyrus D. Cantrell III y David C. Cartwright en *Physics of Quantum Electronics: vol. 4.* Dirigido por Stephen F. Jacobs, Murray Sargent III, Marlan O. Scully y Charles T. Walker. Addison-Wesley Publishing Company, 1976.

LASER ISOTOPE SEPARATION. V. S. Letokhov y C. B. Moore en *Soviet Journal of Quantum Electronics,* en prensa.

LENGUAJE SOCIAL Y NO SOCIAL

MOTHERS' SPEECH TO CHILDREN LEARNING LANGUAGE. Catherine E. Snow en *Child Development,* vol. 43, n.º 2, págs. 549-565; junio, 1972.

THE DEVELOPMENT OF COMMUNICATION SKILLS: MODIFICATIONS IN THE SPEECH OF YOUNG CHILDREN AS A FUNCTION OF LISTENER. Marilyn Shatz y Rochel Gelman en *Monographs of the Society for Research in Child Development,* vol. 38, n.º 5; 1973.

THE DEVELOPMENT OF ROLE-TAKING AND COMMUNICATION SKILLS IN CHILDREN. John H. Flavel en colaboración con Patricia T. Botkin, Charles L. Fry, Jr., John W. Wright y Paul E. Jarvis. Robert E. Krieger Publishing Company, 1975.

LA RESPUESTA A LA ACETILCOLINA

THE SYNAPSE en *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology,* vol. 15; 1976.

SINGLE-CHANNEL CURRENTS RECORDED FROM MEMBRANE OF DENERVATED FROG MUSCLE FIBRES. Erwin Neher y Bert Sakmann en *Nature,* vol. 260, n.º 5554, págs. 799-802; abril 29, 1976.

RATES AND EQUILIBRIA AT THE ACETYLCHOLINE RECEPTOR OF *ELECTROPHORUS* ELECTROPLAQUES. Robert E. Sheridian y Henry A. Lester en *Journal of General Physiology,* en prensa.

JUEGOS MATEMATICOS

THE FOUR-COLOR PROBLEM, 1840-1890. H. S. M. Coxeter en *The Mathematics Teacher,* vol. 52, n.º 4, págs. 283-289; abril, 1959.

THE FOUR-COLOR MAP THEOREM IN *MARTIN GARDNER'S NEW MATHEMATICAL DIVERSIONS FROM SCIENTIFIC AMERICAN.* Martin Gadner, Simon and Schuster, 1966.

THRTEEN COLORFUL VARIATIONS ON GUTHRIE'S FOUR-COLOR CONJECTURE. Thomas L. Saaty en *The American Mathematics Monthly,* vol. 79, n.º 1, págs. 2-43; enero, 1972.

Número 7
Abril 1977

INVESTIGACION Y CIENCIA Edición en español de SCIENTIFIC AMERICAN

6 **LOS DISTINTOS TIPOS DE FOTOSINTESIS Y SU REGULACION, Manuel Losada**
La fotosíntesis consiste, esencialmente, en la fotolisis del agua por las plantas verdes.

20 **MISILES CRUCERO, Kosta Tsipis**
La innovación tecnológica en las fuerzas aéreas crea serios problemas al control de armamentos.

32 **FOBOS Y DEIMOS, Joseph Veverka**
Las dos minúsculas lunas de Marte dan una visión de los cuerpos pequeños del sistema solar.

44 **COMUNICACIONES INTERCONTINENTALES POR SATELITE, Burton I. Edelson**
Ocho satélites en órbitas estacionarias cursan los dos tercios de las comunicaciones mundiales.

56 **EL ORIGEN DE LA ATEROSCLEROSIS, Earl P. Benditt**
La hipótesis monoclonal aporta nuevas luces sobre las causas de la enfermedad coronaria.

68 **LA SEPARACION DE ISOTOPOS CON LASER, Richard N. Zare**
Atomos químicamente idénticos, pero físicamente diferentes, pueden separarse mediante láser.

82 **LENGUAJE SOCIAL Y NO SOCIAL, Robert M. Krauss y Sam Glucksberg**
La comunicación humana eficaz toma en cuenta el conocimiento y la perspectiva del interlocutor.

88 **LA RESPUESTA A LA ACETILCOLINA, Henry A. Lester**
El nervio provoca la contracción de una célula, al lanzarle un pequeño chorro de acetilcolina.

3 CARTAS
4 AUTORES
42 CIENCIA Y SOCIEDAD
102 JUEGOS MATEMATICOS
108 TALLER Y LABORATORIO
114 LIBROS
120 BIBLIOGRAFIA

SCIENTIFIC AMERICAN

COMITE DE REDACCION: Gerard Piel (Presidente); Dennis Flanagan, Francis Bello, Philip Morrison; Trudy E. Bell; Brian P. Hayes; Jonathan B. Piel; John Purcell; James T. Rogers; Armand Schwab, Jr.; Jonathan B. Tucker; Joseph Wisnovsky

DIRECCION EDITORIAL: Dennis Flanagan
DIRECCION ARTISTICA: Samuel L. Howard
PRODUCCION: Richard Sasso
DIRECTOR GENERAL: Donald H. Miller, Jr.

INVESTIGACION Y CIENCIA

DIRECTOR: Francisco Gracia Guillén
REDACTOR JEFE: José María Valderas Gallardo
PRODUCCION: Manuel Estrada Herrero
PROMOCION: Pedro Clotas Cierco

EDITA: Prensa Científica, S.A.
Calabria, 235-239
Barcelona-15
ESPAÑA

Los autores

MANUEL LOSADA VILLASANTE ("Los distintos tipos de fotosíntesis y su regulación") es catedrático y jefe del Departamento de Bioquímica de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Sevilla y del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Anteriormente trabajó como investigador durante seis años en Alemania, Dinamarca y Estados Unidos. Sus campos de investigación son, principalmente, la fotosíntesis y el metabolismo del nitrógeno inorgánico, habiendo publicado más de un centenar de artículos y revisiones sobre estos temas. El profesor Losada es consejero del CSIC y académico de la Real Academia de Ciencias.

KOSTA TSIPIS ("Misiles crucero") es físico del Instituto de Tecnología de Massachusetts. Dedica todo su tiempo a los problemas de la defensa civil y del control de armamentos. Nacido en Grecia, llegó a los Estados Unidos en 1954. Después de graduarse en ingeniería eléctrica (BS) y física atómica (MS) en Rutgers, pasó a la Universidad de Columbia en donde, en 1966, obtuvo el doctorado en física de partículas de alta energía. Ese mismo año entró en el claustro del M.I.T. Escribe: "Se me ha suscitado un interés cada día mayor por el problema de la ciencia aplicada a cuestiones públicas y, particularmente, al control de armamentos. Con el tiempo, advertí que el problema de la regulación de armamentos era demasiado serio e importante para tratarlo sólo a nivel de bufete; por ello dedico todo mi tiempo a investigar, dar conferencias y escribir sobre los aspectos técnicos de su limitación."

JOSEPH VEVERKA ("Fobos y Deimos") es profesor adjunto de astronomía de la Universidad de Cornell. Se licenció en física por la Queen's University, en Canadá. Tras acabar su doctorado en astronomía en la Universidad de Harvard, en 1976, entró en el Laboratory for Planetary Studies, de Cornell. Está especialmente interesado en la historia y evolución de los satélites de los planetas y en su exploración directa por vehículos espaciales. En 1971 y 1972 fue miembro del equipo de televisión del *Mariner* 9, que llevó a cabo el primer examen detallado de los satélites de Marte. Actualmente es miembro del equipo que dirige las expediciones de los *Viking*.

BURTON I. EDELSON ("Comunicaciones intercontinentales por satélite") dirige los Laboratorios de COMSAT (Communications Satellite Corporation) en Clarksburg. Se dedica a trabajos de investigación y proyecto de naves espaciales, sistemas de microondas, proceso y tecnología de transmisores. Se graduó en la U.S. Naval Academy en 1947 y se doctoró en la Universidad de Yale. Su interés por la tecnología del espacio surgió cuando ejercía su carrera de marino en el campo del desarrollo de equipos para la navegación y comunicación de barcos en alta mar vía satélite. Como encargado de los proyectos de la Marina pasó del desarrollo de equipos de a bordo al proyecto de satélites. En 1967 pidió la excedencia en la Armada e ingresó en el COMSAT, para trabajar en varias aplicaciones comerciales de la tecnología del espacio.

EARL P. BENDITT ("El origen de la aterosclerosis") es profesor y jefe del Departamento de Patología en la School of Medicine de la Universidad de Washington. Se doctoró en la Harvard Medical School en 1941. Trabajó como interno en el Hospital General de Filadelfia, para pasar luego a la clínica universitaria de Chicago, en donde permaneció desde 1944 hasta 1957, año en que se incorporó a la Universidad de Washington. Escribe: "Mis intereses científicos se centran en el estudio de las enfermedades y, especialmente, el de las enfermedades humanas. Durante muchos años, con mis estudiantes, nos hemos interesado en cómo las células y los tejidos responden a las heridas. Cuando empezamos no existían ni métodos ni ciertos conceptos biológicos fundamentales para estudiar las enfermedades humanas de la manera que yo quería y me parecía necesaria. En vista de ello experimentamos con animales destinados a ser modelos de las enfermedades de las personas. Ha sido para mí un placer observar, animar a otros y participar en progresos que nos han proporcionado el poder estudiar aspectos fundamentales de las enfermedades humanas. Estoy fascinado por la interacción de las personas con su medio ambiente y por el papel de éste en la inducción de enfermedades".

RICHARD N. ZARE ("La separación de isótopos con láser") es profesor de física de la Universidad de Columbia. Nacido en Cleveland en 1939, recibió su grado B.A. por la Universidad de Harvard en 1961 y su Ph.D. (en química física) en la misma institución, en 1964. Después de trabajar en el Instituto de Tecnología de Massachusetts y la Universidad de Colorado, enseñó química en Columbia en 1969, siendo nombrado "Higgins Professor" en 1975.

ROBERT M. KRAUSS y SAM GLUCKSBERG ("Lenguaje social y no social") enseñan psicología en las universidades de Columbia y Princeton, respectivamente. Krauss se doctoró en la universidad de Nueva York. Profesó en Princeton, Harvard y Rutgers antes de ingresar en la facultad de Columbia en 1970. Ha investigado el campo del comportamiento interpersonal y la psicología social. Actualmente está estudiando el comportamiento verbal y no verbal que acompaña a situaciones de autopresentación, investigación que incluye acompañamientos no verbales de los intentos de engañar a otros, Glucksberg se doctoró, asimismo, en la Universidad de Nueva York y ha permanecido en Princeton desde 1963. Es coautor, con Joseph H. Danks, de la obra *Experimental Psycholinguistics*, que es una introducción general a la psicología del lenguaje. Sus investigaciones abarcan la solución de problemas y creatividad, la memoria en adultos y niños, la relación entre lenguaje y pensamiento y las estrategias y mecanismos usados por las personas en el entendimiento de discursos tanto hablados como escritos. En la actualidad está estudiando la forma en que las palabras y frases se representan en la memoria de los adultos.

HENRY A. LESTER ("La respuesta a la acetilcolina") es profesor adjunto de biología en el Instituto de Tecnología de California. "Me eduqué en Teaneck, New Jersey, y fui a la Universidad de Harvard, donde me interesé sobre todo por la física de partículas y por el teatro estudiantil. Después estudié como postgraduado en la Universidad de Rockefeller, en Nueva York, donde conseguí un Ph. D. en biofísica, trabajé en el laboratorio de H. K. Hartline, Floyd Rayliff y F. A. Dodge y me pasé mucho tiempo en los pequeños teatros neoyorquinos. Luego trabajé durante dos años en el Instituto Pasteur. Estoy, desde 1973, en el Instituto de Tecnología de California, que es un lugar interesantísimo para los profesionales de la neurobiología.